

УДК 614.8(075.8)

В. В. БЕРЕЗУЦКИЙ, В. В. ХАЛИЛЬ**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ МАГНИЙ**

В статье рассмотрена актуальность решения проблемы, связанной с необходимостью потребления работниками транспортной отрасли магний содержащей воды. Показана актуальность существующей проблемы с недостаточным пополнением организма человека магнием содержащих компонентов и других минеральных веществ. Результатом дефицита магния является стресс, который слишком часто встречается у жителей больших городов. Недостаток элемента магния представляет собой опасность для человеческого здоровья. Наиболее ярко выраженными симптомами являются частые головокружения, головные боли, судороги, появление «искр» и «звездочек» в глазах, быстрое переутомление, ощущение тяжести во всех участках тела и подавленное состояние. Выполнен анализ существующих технологий производства питьевой воды, содержащей ионы магния и другие минеральные компоненты. Рассмотрены и предложены технологии получения искусственной минеральной воды с помощью электролиза металлического магния. В настоящее время необходимо разрабатывать технологии позволяющие предприятиям получать минерализованные воды соответствующие качеству и требованиям специалистов непосредственно в условиях производств. Примером такой искусственной воды может быть известная «Сельтерская вода», которую много лет готовят по рецепту. Технологии приготовления воды, которые рассматриваются в статье, основаны на разработках ученых кафедры «Охраны труда и окружающей среды» НТУ «ХПИ». Предлагаемые технологии реализованы в конструкциях промышленных аппаратов для очистки вод. Апробация этих конструкций показала их высокую эффективность и сравнительно незначительные финансовые затраты. Новые подходы и технологии позволяют создавать автономные аппараты, небольшой производительности, которые смогут обеспечить работников качественной минерализованной водой. Приведены результаты обсуждения полученных результатов исследований, выводы и предложения.

Ключевые слова: дефицит, опасность, питьевая вода, магний, производство, электролиз, электрокоагуляция, аппарат.

В. В. БЕРЕЗУЦКИЙ, В. В. ХАЛИЛЬ**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОЇ ВОДИ, ЩО МІСТИТЬ МАГНІЙ**

У статті розглянута актуальність вирішення проблеми, пов'язаної з необхідністю споживання працівниками транспортної галузі води що містить магній. Показана актуальність існуючої проблеми з недостатнім поповненням організму людини компонентами що містять магній і інші мінеральні речовини. Результатом дефіциту магнію є стрес, який занадто часто зустрічається у жителів великих міст. Недолік елементу магнію являє собою небезпеку для людського здоров'я. Найбільш яскраво вираженими симптомами є часті запаморочення, головний біль, судороги, поява «іскр» і «зірочок» в очах, швидка перевтомленість, відчуття важкості в усіх ділянках тіла і пригнічений стан. Виконано аналіз існуючих технологій виробництва питної води, що містить іони магнію і інші мінеральні компоненти. Розглянуто та запропоновано технології отримання штучної мінеральної води за допомогою електролізу металевого магнію. В даний час необхідно розробляти технології які дозволяють підприємствам отримувати мінералізовані води відповідної якості і вимогам фахівців безпосередньо в умовах виробництва. Прикладом такої штучної води може бути відома «сельтерська вода», яку багато років готують за рецептом. Технології приготування води, які розглядаються у статті, засновані на розробках вчених кафедри «Охорони праці та навколишнього середовища» НТУ «ХПІ». Запропоновані технології реалізовані в конструкціях промислових апаратів для очищення вод. Апробація цих конструкцій показала їх високу ефективність і порівняно незначні фінансові витрати. Нові підходи та технології дозволяють створювати автономні апарати, невеликої продуктивності, які зможуть забезпечити працівників якісною мінералізованою водою. Наведено результати обговорення отриманих результатів досліджень, висновки і пропозиції.

Ключові слова: дефіцит, небезпека, питна вода, магній, виробництво, електроліз, електрокоагуляція, апарат.

V.V. BEREZUTSKYI, V.V. KHALIL**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DRINKING WATER CONTAINING OF MAGNESIUM**

The article considers the actual problem, which is connected with the need for consumption of magnesium by the workers of the transport industry with drinking water. The actuality of the existing problem with insufficient replenishment of human organism with components containing magnesium and other mineral substances is shown. The result of magnesium deficiency is the stress that is very common in the inhabitants of large cities. Lack of magnesium is a danger to human health. The most pronounced symptoms are frequent dizziness, headache, convulsions, the appearance of "sparks" and "asterisks" in the eyes, rapid exhaustion, feeling of heaviness in all parts of the body and depressed state. An analysis of existing technologies for the production of potable water containing magnesium ions and other mineral components is performed. Techniques for obtaining artificial mineral water by electrolysis of metallic magnesium are considered and proposed. Currently, it is necessary to develop technologies that allow enterprises to receive mineral water of the appropriate quality and requirements of specialists directly in the conditions of production. An example of such artificial water can be known «seltzer water» which is cooked for many years by prescription. Technologies of production which are discussed in the article will bases on the development of scientists of the Department of "Labor & Environment Protection" NTU "KhPI". The offered technologies are realized in designs of industrial apparatuses for water purification. Approval of these structures showed their high efficiency and relatively insignificant financial costs. New approaches and technologies allow you to create stand-alone units with small productivity that can provide employees with high-quality mineral water. The results of discussion of the obtained research results, conclusions and proposals are presented.

Key words: deficiency, danger, drinking water, magnesium, production, electrolysis, electro-coagulation, apparatus.

Введение

Работники транспортных отраслей промышленности расходуют свой жизненно важный ресурс энергии в процессе работы, который частично компенсируется потреблением питьевой воды. Однако этого недостаточно для нормализации работы

организма.

В природе существует значительное количество различных химических веществ, которые очень важны для развития и сохранения здоровья человека. Одним из таких элементов является магний. По мнению ученых, после кислорода, водорода, азота и углерода,

© В. В. Березуцкий, В. В. Халиль, 2018

магний является самым важным для организма элементом. Магний принимает участие в более чем 300-тах реакциях необходимых для функционирования организма: это и выработка многих ферментов, активация работы других структурных элементов, синтез белков и выработка энергии. Тем не менее, необходимо помнить, что для эффективного усвоения организмом человека магния, необходимы определённые условия. Усвоение магния может нарушаться при избыточном поступлении в организм жиров, фосфатов и кальция (в больших дозах), марганца, кобальта, свинца, никеля, кадмия, а также кофе, алкоголя, некоторых лекарственных препаратов и антибиотиков. С другой стороны, такие витамины как B1, B6, C, D, E, а также кальций и фосфор (в оптимальных количествах), улучшают его усвояемость [1].

В 1695 году из горькой воды минерального источника в Эпсеме английским ботаником Неемией Грю была выделена соль – Epsom Salt. За пределами Британии – это вещество получило название «английской соли». С конца 17 и до начала 20 века «английская соль» использовалась в медицине как «средство от всего». Ею лечили ревматизм, заболевания почек, склероз, кожные заболевания и расшатанные нервы. Это был...обычный сульфат магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Известный также как горькая соль, магнезия, сернокислый магний, гептагидрат сульфата магния, Sel d'Epsom, epsom salts, Magnesium Sulfate heptahydrate [2].

Потребность организма. Суточная потребность организма в магнии в среднем составляет около 400 мг. Для беременных женщин эта цифра возрастает до 450 мг. Детям необходимо ежедневное поступление 200 мг микроэлемента. У спортсменов и людей, подвергающихся высокой физической нагрузке, потребность в магнии значительно возрастает – до 600 мг/сут, особенно во время длительных тренировок и в стрессовых ситуациях. В организме микроэлемент распределяется в тканях органов и систем, при этом наибольшая концентрация его наблюдается в печени, костях, мышцах, в тканях центральной и периферической нервной системы. Попадает в организм с пищей, водой и солью. Выводится в основном кишечником и, в меньшей степени, почками [3].

Симптомы передозировки и дефицита магния.

Основным неприятным последствием, к которому может привести дефицит магния, является стресс, который слишком часто встречается у жителей больших городов. Недостаток элемента представляет собой опасность для человеческого здоровья. Наиболее ярко выраженными симптомами являются частые головокружения, головные боли, судороги, появление «искр» и «звездочек» в глазах, быстрое переутомление, ощущение тяжести во всех участках тела и подавленное состояние. При употреблении больших доз алкоголя, а также газированных напитков нехватка магния ощущается гораздо острее. Помимо нездорового питания и эмоционально стресса, причиной нехватки магния может стать

активная физическая или умственная деятельность. Поскольку магний свойственно выводиться из организма естественным путем, его переизбыток практически невозможен. Опасность для организма магний может представлять при введении внутривенных препаратов, а также при серьезных заболеваниях почек [4].

Основные источники магния в природе – *продукты*. Магний содержится во многих продуктах питания, но его количество в них различно: где-то его много, а где-то – совсем мало. Например, гречневая и пшеничная крупы – это продукты, доступные всем, и магния в них содержится довольно много. Фасоль, горох, некоторые другие бобовые, арбуз, лесные орехи, сухое молоко, тахинная халва, проросшая пшеница и пшеничные отруби, соевая мука и шпинат тоже являются одними из основных его источников. Суточную потребность магния можно обеспечить, если съедать по несколько кусков ржаного хлеба каждый день, однако питаться хлебом в таком количестве вряд ли разумно. В пшеничном хлебе, кукурузе, моркови, салате и других листовых овощах, картофеле, белокочанной капусте, свекле, помидорах, репчатом и зелёном луке магний тоже есть, но уже в меньших количествах. Недостаток и дефицит магния встречаются довольно часто, особенно у людей, живущих в состоянии хронического стресса. В наше время, к сожалению, затяжной стресс – частое явление, особенно у людей, живущих в больших городах [5].

Минеральная вода. Минеральная вода является важным источником полезных веществ для организма, в том числе и минеральных веществ. Столовая минеральная вода имеет низкую минерализацию (до 500 мг/л). Её можно употреблять ежедневно без каких-либо негативных последствий для здоровья. Вода с низкой минерализацией вполне подходит и для маленьких детей. Лечебно-столовые минеральные воды содержат значительно больше солей (от 500 до 1000 мг/л). Такую воду уже нельзя бесконтрольно употреблять в любых количествах, потому что это может спровоцировать солевой дисбаланс и даже привести к обострению хронических заболеваний. А вот если не слишком «увлекаться» такими минеральными водами и пить их периодически, это будет полезно для здоровья. Лечебная минеральная вода содержит 1000 и более мг солей на литр. Её можно применять, как и любое лекарство, только после консультации с врачом и по его назначению. Минеральные воды различают и по их химическому составу: хлоридные, сульфатные и гидрокарбонатные. Выбирая между газированной и негазированной минеральной водой, лучше отдать предпочтение последней. Если вообще не можете пить воду без газа, выбирайте слабо газированную минералку [6]. Лечебные воды Украины имеют разные составы и назначения. Большие запасы минеральных вод находятся в Закарпатье, Львовской, Киевской, Хмельницкой, Харьковской, Донецкой и других областях [7].

2. Анализ существующих технологий производства питьевой воды, содержащих ионы магния и другие минеральные компоненты

В настоящее время существует индустрия производства искусственной питьевой воды и водных концентратов, в состав которых входит магний. Например, «Донат Mg» – напиток, который оказывает быстрое стимулирующее действие на гормоны кишечника за счет высокой минерализации и большого количества гидрокарбоната, а при быстрой эвакуации из желудка, как бы «подметаает» его содержимое. Эта реакция длится 5–10 минут, она естественна для здорового человека, но при сахарном диабете существенно ослаблена или даже полностью отсутствует. Таким образом, прием за 15–20 минут до еды 150–200 мл воды «Донат Mg», увеличивает выработку пищеварительных гормонов кишечника, которые в свою очередь активизируют выработку инсулина поджелудочной железой. В организме проводится активная выработка инсулина, который подготовит клетки к приему глюкозы, активизируя их рецепторы. Так происходит подготовка организма к приему пищи, нормализуется обмен веществ [8].

На сегодняшний день производят более 160 видов лечебных и лечебно-столовых вод, а также примерно 100 видов столовых минеральных вод. Следует отметить, что в зависимости, как от химического, так и от газового состава производство минеральных вод осуществляется по пяти технологическим направлениям. По *первой технологии* выпускаются не углекислые воды, в которых отсутствуют легко окисляемые компоненты. По *второй* – производятся углекислые воды, в которых также не содержатся легко окисляемые компоненты. По *третьей* выпускаются минеральные воды, в которых имеется железо. По *четвертой* производятся гидросульфитные и гидросульфитно-сероводородные минеральные воды. По *пятой технологии* выпускаются минеральные воды, в которых находятся сульфатвосстанавливающие бактерии. Каждая технология имеет собственную схему обработки и разлива вод. Процесс добывания, обрабатывания и разлива минеральных вод осуществляется таким образом: минеральная вода из скважины под своим напором или при помощи насоса направляется в водосборник, который размещен в специальном помещении. Непосредственно из водосборника вода перекачивается в емкость, предназначенную для хранения и уже оттуда, насосом подается на фильтрацию в керамические фильтры. Затем вода охлаждается в пластинчатом теплообменнике и направляется в промежуточный сборник, откуда насосом передается в сатуратор для газирования. Диоксид углерода направляется в сатуратор через регулирующий узел. Такой механизм является подсоединенным к станции газификации. Уже насыщенную минеральную воду отправляют на бактерицидную установку, а далее на разлив. В том случае, когда минеральная вода привозится по железной дороге ее, в первую очередь, обрабатывают, то есть фильтруют, охлаждают, немного насыщают

диоксидом углерода и обеззараживают. Если воду привезли в железнодорожных цистернах, то производство минеральной воды завершается обработкой в бактерицидных установках и уже после этого, она отправляется в сборники на хранение. Промышленный разлив является завершающим этапом в производстве минеральных вод. Для газирования воды применяется углекислый газ. Углекислый газ замечательно растворяется в воде и вступает в химическое взаимодействие с водой. Углекислый газ в воде кроме этого применяется как консервант и наносится на упаковку кодом E290 [9].

Производство искусственной минеральной воды. Одной из первых технологий приготовления искусственной минеральной воды была технология для изготовления Сельтерской воды. «Сельтерская вода» прежде была наиболее распространенным прохладительным напитком. Название свое она получила по имени небольшого горного местечка Нидерсельтерс в Германии. Русский химик Ф. Челавский, исследовавший в прошлом веке воды Нидерсельтерса, установил, что местные жители с давних пор пользуются ими для лечения сердечнососудистых и желудочных болезней. К тому же вода была очень вкусная и никак не походила на лекарство. Однако ее не хватало для широкого экспорта, и поэтому почти всюду начали изготавливать искусственную «Сельтерскую воду». Природная сельтерская вода (из источника) имеет следующий химический состав (в г на 1 дал): карбоната натрия 13,2, хлористого натрия 16,0, хлористого калия 0,47, хлористого магния 2,7, сернокислого натрия 0,52, сернокислого калия 2,95, фосфорнокислого натрия 0,013.

Для приготовления «Сельтерской воды» применяют карбонат натрия (Na_2CO_3) или бикарбонат натрия (NaHCO_3) (питьевая сода), хлористый натрий (NaCl), хлористый кальций (CaCl_2) и хлористый магний (MgCl_2). На приготовление 1 дал «Сельтерской воды» расходуется примерно от 15 до 25 г карбоната натрия или 40 г бикарбоната натрия, 10–15 г хлористого натрия, 10–15 г хлористого кальция и небольшое количество (0,10–0,15 г) хлористого магния. Растворы этих солей требуемой концентрации готовят в таком количестве, чтобы при смешивании их получить определенный объем (1; 10 или 100 г/л) рабочего раствора сельтера, содержащего соли в соотношении, принятом нормативами, что позволяет осуществлять объемную дозировку. Полученные растворы фильтруют, охлаждают и смешивают. Приготовленный таким образом солевой раствор (сельтер) сохраняют в специальном резервуаре, из которого посредством дозирующего аппарата разливают его в бутылки, наполняемые затем сатурированной водой под абсолютным давлением 0,6–0,7 МН/м² (6–7 кг/см²). Известны и другие способы приготовления «Сельтерской воды». «Сельтерская вода» является щелочной водой, так как в результате сильного гидролиза карбоната натрия ($\text{Na}_2\text{CO}_3 +$

$\text{HON}=\text{NaHCO}_3+\text{NaOH}$) его раствор показывает щелочную реакцию.

Вследствие избытка ионов гидроксидов раствор имеет щелочную реакцию. Бикарбонат натрия также вследствие гидролиза в водном растворе дает щелочную реакцию, обусловленную наличием гидроксильных ионов: $\text{HCO}_3^-+\text{HON}=\text{H}_2\text{CO}_3+\text{OH}^-$.

Разлитую в бутылки «Содовую» и «Сельтерскую воду» до отправки ее в торговую сеть следует выдерживать на заводе в течение трех месяцев в горизонтальном положении, в затемненном, хорошо вентилируемом помещении при температуре не ниже 2 °C и не выше 12 °C. Напитки разливают в бутылки емкостью 0,5 л и в стеклянные сифоны. Состав «Сельтерской воды», выпускаемой в Европе, довольно разнообразен, но основными солями являются карбонат натрия (редко заменяемый бикарбонатом натрия) и хлористый натрий с добавкой к ним иногда сернокислого натрия либо хлористого кальция (иногда того и другого), либо хлористого магния; более редкими добавками являются сернокислый калий и фосфорнокислый натрий. В табл. 1 приведено содержание различных солей в «Сельтерской воде» по различным рецептурам (в г на 1 дал).

В США для производства «Сельтерской воды» смешивают (из расчета на 1 дал = 10 л) 25,5 г бикарбоната натрия, 18,4 г хлористого натрия и 1,4 г сернокислого натрия; полученную смесь солей растворяют из расчета 22 г на 100 л воды [10].

Табл. 1. Химический состав «Сельтерских вод», выпускаемых в Европе

Наименование солей	Содержание солей в г на 1 дал в различных рецептурах								Содержание солей в 1 дал природного источника в г		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Карбонат натрия	30	20	16	10	10	8	7,5	3,2	-	-	13,2
Хлористый натрий	15	10	10	5,0	12,5	7,0	2,5	16,3	16,8	10	16,0
Карбонат натрия	-	-	-	-	-	-	-	-	21	16	-
Хлористый калий	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	0,47
Сернокислый натрий	-	5	1	3,6	-	-	5	1	-	-	0,52
Сернокислый калий	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2,95
Хлористый магний	2	-	-	-	1	0,5	-	-	-	1	2,70
Хлористый кальций	-	-	2,5	-	0,5	1	1	-	-	-	-
Фосфорнокислый натрий	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	1	0,013

3. Разработка технологии изготовления питьевой воды на базе металлического магния

Цель – исследование и разработка технологии производства питьевой воды с биологически активным минеральным компонентом Mg.

Задача: подготовка, очистка и насыщение питьевой воды ионами магния, необходимыми и полезными для организма человека.

Условия и ограничения:

1. Исходный базовый водный раствор (вода из системы городского водоснабжения), не очищен от примесей. Может содержать постоянные соли жесткости и хлор.

Варианты обработки: кипячение, фильтрация, очистка осмосом, электрокоагуляция и прочие. Наше предложение: электрокоагуляция и активная фильтрация.

2. Источники ионов магния.

Варианты: металлический магний (в сплавах, листах), магний содержащие минералы, растения и прочие.

Наше предложение: металлический магний (листы), отходы производств риса и других растений с большим содержанием минеральных веществ.

3. Обеспечение дозированной подачи ионов магния и минеральных веществ в воду.

Необходимо выполнение ряда экспериментов по определению возможности управления дозированием ионов магния.

Наше предложение: управление скоростью электрохимического растворения металлического магния при электролизе и электрохимическом активировании воды. Возможно изготовление концентрата, который затем будет использован для приготовления минеральной воды.

4. Хранение минеральной воды.

Правильное хранение полученного продукта, будет определять эффективность его благоприятного влияния на биологические процессы в организме человека.

Наше предложение: использование газирования воды двуокисью углерода.

4. Подготовка воды электролизом и электрокоагуляцией

Электролизом воды называют электрохимический процесс, который происходит в ёмкости (электролизные или гальванические ванны) путём размещения в электролите двух электродов и подключении к ним постоянного тока [11].

Электролитами называются жидкие проводники, которые относятся к проводникам второго типа. Под жидкими проводниками понимаются жидкости/растворы обладающие электропроводностью. В нашем случае электролитом является вода. В процессе электролиза, ионы, растворённые в воде, под воздействием электрического поля, образуемого в электролите постоянным электрическим током, начинают движение к электродам. Ионы с положительным зарядом, в соответствии с законами физики, двигаются к электроду с отрицательным зарядом, который называется катодом, а отрицательно заряженные ионы соответственно перемещаются к другому электроду, называемому анодом. На протекание процесса электролиза влияют несколько факторов: сила тока, подключаемого к электродам;

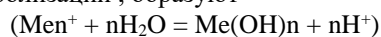
потенциал ионов; состав электролита; материал, из которого изготовлены электроды – катод и анод. Как правило, при электролизе воды, для лучшего прохождения процесса, в воду добавляют немного какого-либо вещества, например пищевой соды, но не обязательно, поскольку обычная вода практически всегда уже содержит примеси. В результате электролиза воды выделяются водород и кислород. Кислород будет выделяться на аноде, а водород на катоде. Технология электролиза воды применяется: в системах очистки воды от всевозможных примесей; для получения водорода. Водород же, например, используют в весьма перспективной отрасли – водородной энергетике.

Электролитическая диссоциация – процесс распада электролита на ионы при растворении его в воде или при плавлении.

Диссоциация на ионы происходит вследствие взаимодействия растворённого вещества с растворителем; по данным спектроскопических методов, это взаимодействие носит в значительной мере химический характер. Наряду с сольватирующей способностью молекул растворителя определённую роль в электролитической диссоциации играет также макроскопическое свойство растворителя – его диэлектрическая проницаемость. Под действием высоких температур ионы кристаллической решётки начинают совершать колебания, кинетическая энергия повышается, и наступает такой момент (при температуре плавления вещества), когда она превысит энергию взаимодействия ионов. Результатом этого является распад вещества на ионы. Для очистки воды от примесей широко применяется коагуляция. Коагуляция (от лат. *coagulatio* – свертывание, сгущение), так же старение – объединение мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления. Ведет к выпадению из коллоидного раствора хлопьевидного осадка. Коагуляция – естественный, самопроизвольный процесс расслаивания коллоидного раствора на твёрдую фазу и дисперсную среду. Таким образом, дисперсная система стремится достичь состояния минимальной энергии. Один из видов коагуляции – электрокоагуляция. Электрокоагуляция (англ. *Electrocoagulation*) – коагуляция (оседание) коллоидных систем вследствие действия на них постоянного электрического тока, который вызывает электрическую диссоциацию присутствующих в системе солей, выборочное взаимодействие ионов с образованием и выпадением гелей [12]. В зависимости от состава вод, применяемые для электрокоагуляции электроды, изготавливаются из следующих металлов и сплавов: алюминия, железа, свинца и др. металлов, ионы которых, выходя в раствор при электролизе, обладают хорошими коагулирующими свойствами.

На растворимых электродах происходит ионизация металла с переходом в раствор его ионов:

($Me - ne = Men^+$), которые в процессе гидролиза, образуют



Гидроксиды металлов, являющиеся хорошими коагулянтами загрязнений и адсорбентами для уже коагулированных частиц. Кроме того, при прохождении воды между электродами под воздействием электрического поля происходит нейтрализация заряда загрязняющих частиц с последующей их коагуляцией. Этот процесс можно назвать электрофлокуляцией и электрокоагуляцией.

Продолжительность электрокоагуляционной очистки воды может составлять от 3 до 30 мин, расход металла – 5–200 г/м³, энергозатраты от 0,2 до 2,5 кВтч/м³. Известно, что размер капель молочного жира в молоке составляет около 8 мкм. Для эффективного удаления жира нужен метод генерации пузырьков с характерным размером, сопоставимым с вышеуказанным размером. Только в этом случае обеспечивается высокая эффективность флотационной очистки. Обычная флотация дает пузырьки с размером от 100 до 800 мкм. Электрофлотация обеспечивает генерацию пузырьков от 4 до 40 мкм (с нужным размером).

Электрокоагуляционная очистка воды ведется в электролизерах с вертикальными электродами, выполненными в виде прямоугольных пластин. Электродная система выполняется в виде блока плоских пластин металла, расположенных друг от друга на расстоянии 10–20 мм. Питание электродной системы выпрямленным током производится от блока питания, обеспечивающего электрические параметры процесса очистки. Вертикальное движение жидкости снизу вверх обеспечивает вынос выделяющихся газов и продуктов электролиза.

Очистка водных технологических сред способом электрокоагуляции определяется сорбционной способностью катионов, а также эффективностью комплексообразования. Установлено, что в процессах электрокоагуляции предпочтительно применять гидроксиды железа, что определяется последующими более благоприятными возможностями утилизации извлекаемых из водных сред комплексов, состоящих из частиц гидроксидов металла и загрязнений. Для $Fe(OH)_3$ изoeлектрическая точка минимальной растворимости по Гольтгофу лежит в пределах значений $pH = 8-9$. Получаемый гидроксид металлов в водном растворе состоит из мелкодиспергированных частиц с достаточно развитой поверхностью. При гидролизе, связанным с образованием $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ и т.п., образуются хлопья гидрогелей гидроксидов металлов, обладающих значительной удельной поверхностью $(1-4) \cdot 10^5, m^2/kg$ [13]. При этом высокая активность гидроксидов сохраняется в течение определенного времени.

Эффективность процесса очистки гальванических растворов от ионов различных примесей определяется, как общим количеством переведенного в раствор железа (общим количеством образовавшегося при этом гидроксида Fe^{2+}), так и исходной величиной pH обрабатываемых водных сред. Установлено, что достаточно высокая степень очистки водных сред от ионов тяжелых металлов

(цинка, меди, никеля, кадмия) достигается лишь при исходной величине pH технологических растворов, близкой к величине pH начала образования соответствующих гидроксидов металлов, а также при условии перевода в среду определенного количества Fe^{2+} -ионов [13].

При обработке технологических сред, содержащих несколько ионов тяжелых металлов, эффект их очистки от каждого из компонентов при одинаковых (в расчете на каждый из компонентов) затратах анодорастворенного металла оказывается более высоким, чем при обработке технологических сред, содержащих только один компонент. При этом общие расходы металла и электроэнергии на обработку растворов значительно сокращаются. Это объясняется тем, что расход металлического железа, необходимого для обработки технологических сред, определяется в основном содержанием в них компонента, для удаления которого должно быть затрачено наибольшее количество коагулирующего вещества (металлического железа) [13].

На рис. 1 представлена лабораторная установка, для проведения исследований процесса электрокоагуляционного извлечения загрязняющих веществ из воды.

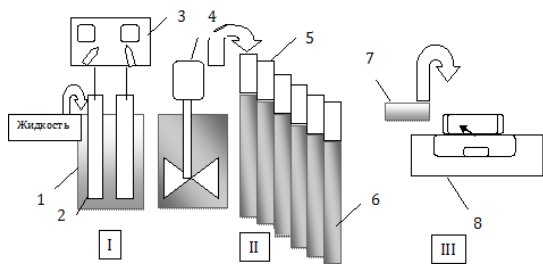


Рис. 1 Лабораторная установка, для проведения исследований

На рис.1 схематично показаны этапы выполнения исследований: I этап анодное растворение ионов металла; II этап – перемешивание коагулянта (гидроксида электрогенерированного металла) в водной среде с ионами примесей и отстаивание в мерных цилиндрах; III этап - измерение оптической плотности водной среды и определение эффективности процесса электрокоагуляции.

В состав лабораторной установки входят химический стакан (1) в который заливается исходная среда (электролит), где нарабатывается гидроксид электрогенерированного металла, с помощью электродных металлических пластин (2) помещенных в стакан (1). Напряжение на пластины подается и регулируется с помощью лабораторного выпрямителя (3). Перемешивание выполняется в химическом стакане с помощью мешалки (число оборотов 60 оборотов в минуту). Отстаивание (медленное коагулирование) выполняется в мерных цилиндрах (5). Из мерных цилиндров, отбирается проба и помещается в измерительную кювету (7), которая исследуется в приборе (фотоколориметре – КФК-2) (8).

Количество наработанного коагулянта (D , кг), рассчитывалось по известной формуле Фарадея [13].

$$D = h \cdot \frac{t \cdot A \cdot J}{F \cdot n} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где: η – коэффициент выхода металла по току, %;

t – время прохождения тока, ч;

A – атомная масса металла;

I – сила тока, А;

F – число Фарадея (96500 Кл);

n – валентность металла.

На рис. 2 представлено соотношение количества анодорастворенного магния, получаемого в процессе электролиза при различных величинах электрического тока и времени.

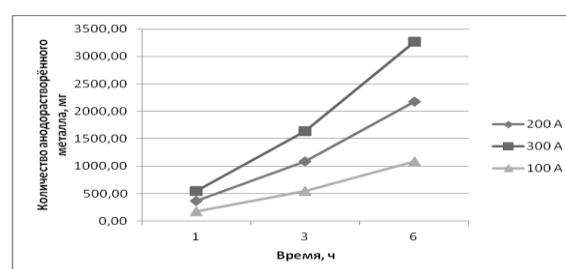


Рис. 2 Кинетическая зависимость количества ионов магния, переходящего в воду при растворении на аноде в процессе электролиза при различных величинах электрического тока

Как видно из полученных зависимостей, которые приведены на рис. 2, кинетика процесса определяется во многом величиной постоянного электрического тока проходящего через электроды и временем процесса.

4.1 Активация воды с помощью биполярных электролизёров

В настоящее время появляются новые задачи при водоподготовке, которые определяются необходимостью изменения концентраций катионов и анионов в воде, с целью ее очистки или придания ей определенных свойств [14, 15]. Одной из таких технологий является разделение ионов воды с помощью пропускания ее через камеры, где установлены полупроницаемые перегородки, с помощью которых и происходит разделение нейтральной воды на катионо - и анионоактивную воду.

Сущность процесса активации воды с помощью биполярных электролизёров заключается в получении в аппарате электрического поля, которое в дальнейшем определяет величину электрического тока проходящего через электролит. Полупроницаемая перегородка делит электролизную камеру на две части, а именно катодную и анодную. В этой технологии много зависит от правильного выбора материала для перегородки. Существующие перегородки выполняются из пористых природных

или искусственных материалов, в том числе из брезентовой ткани и т.п. Процесс эффективного разделения ионов (активирования) воды зависит от времени, приложенного электрического напряжения, материала перегородки и состава электролита.

Для выполнения поставленной цели – безреагентная активация воды, была собрана экспериментальная установка, которая представлена на рис. 3.

Корпус экспериментальной установки выполнен из прозрачного органического стекла (4), в котором установлена съемная перегородка (1), выполненная из брезентовой ткани, и электроды – катод (3) и анод (2), к которым подводится электрическое напряжение от выпрямителя электрического тока (5).

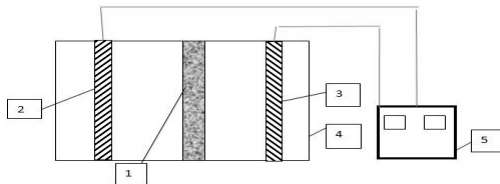


Рис. 3 Схема экспериментальной установки активатора воды

В первом эксперименте расстояние от электродов до перегородки не менялось в процессе исследований, и было равно 0,05 м. Электроды выполнены из нержавеющей стали, толщина – 0,002 м. Исследования проводились при различных величинах электрического тока. Электролит – питьевая водопроводная вода. Скорость потока электролита – вода неподвижна (0 м/с). К недостаткам технологического процесса необходимо отнести быстрое забивание пор материала перегородки продуктами процесса активации и значительное увеличение температуры (до 60 °С и более) при увеличении напряжения электрического тока.

Результаты эксперимента. На рис. 4 и рис. 5 приведены результаты эксперимента.

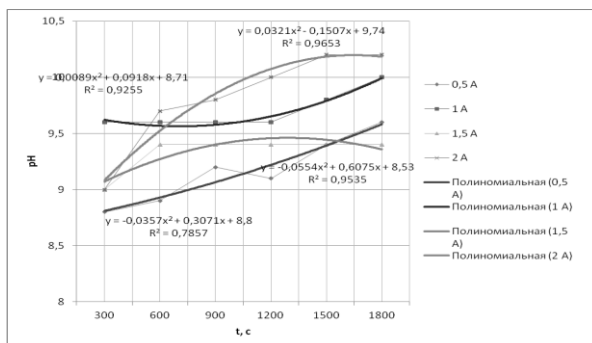


Рис. 4 Результаты эксперимента для катодной области активатора

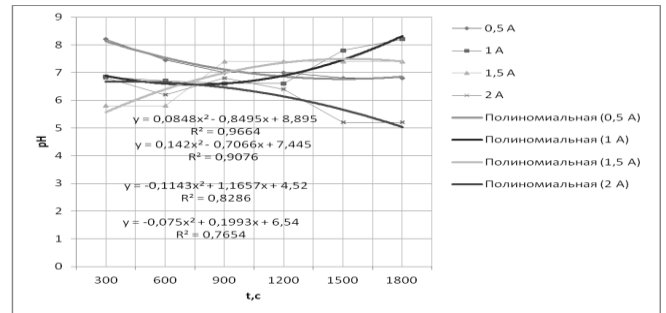


Рис. 5 Результаты эксперимента для анодной области активатора

В следующем эксперименте в качестве перегородки использовался биполярный электрод, выполненный из металла со специальной перфорацией. Результаты эксперимента приведены для сравнения с результатами брезентовой перегородки при токе 0,3 А на рис. 6.

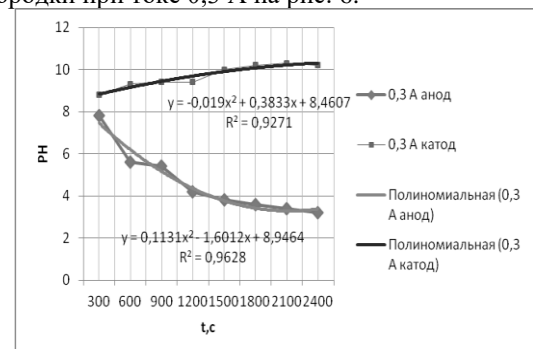


Рис. 6 Результаты эксперимента для катодной и анодной области активатора с биполярными перфорированными электродами

Температура при этих условиях повышается не более чем на 10–20 °С. Процесс разделения ионов в катодной и анодной областях происходит практически за несколько секунд. Недостаток – при снятии напряжения происходит нейтрализация. Поэтому для сохранения эффекта разделения необходимо постоянно отводить электролит из катодной и анодной областей.

В качестве сравнения, было выполнено разбавление активированной воды с pH = 9. Снижение pH на 0,7 было получено при 18 кратном разбавлении водой с pH = 7,5.

В следующем эксперименте были исследованы различные металлические биполярные электроды, для применения в качестве полупроницаемой перегородки, размеры перфораций, влияние площади перфорации на процесс активации, толщины пластин перегородок, размещение перфораций на поверхности перегородок и другое. Проточный активатор состоит из проточной емкости, в которой размещены электродные камеры с установленными в них анодами и катодами, разделенными биполярными электродами выполненными из металла, имеющие специальную перфорацию. Вид активатора показан на рис. 7.

Проточный активатор воды состоит из следующих частей: системы подвода воды на активацию (1), камер с размещенными в них

электродами (2), биполярных металлических перегородок с перфорацией (3), систем отвода активированной катионитной (4) и (или) анионитной (5) воды.

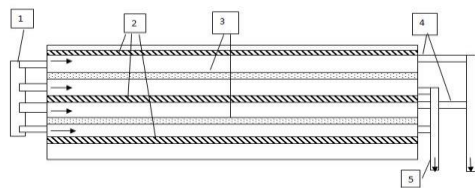


Рис. 7 Схема проточного электроактиватора воды

Поставленная задача выполнена, эксперименты показали перспективность рассматриваемой технологии для процессов разделения ионов электролитов на катионы и анионы с последующим перемещением их в разные камеры с помощью проточного активатора промышленного типа. Особенно это может быть перспективно для систем минерализации или деминерализации вод.

Выводы

В Украине практически отсутствует производство искусственной воды минерализованной ионами магния. Потребность в такой воде, прежде всего, ощущают работники транспортной сферы услуг и производств.

1. Рассмотренные технологии производства минерализованной воды, позволяют наладить производство и выпуск искусственной питьевой воды для потребностей отдельных транспортных производств и предприятий, в соответствии с рекомендациями диетологов и санитарных врачей.

2. Предлагаемые технологии сравнительно легко автоматизируются и поддаются управлению, т.к. все операции выполняются за счёт электрической энергии.

Список литературы

1. Магний (MG). – [Электронный ресурс] // 2010. Режим доступа: http://hnb.com.ua/articles/s-zdorovie-magniy_mg-342
2. Гончаров А. Магия магния. – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: <http://infoindustria.com.ua/MAGIYA-MAGNIYA/>
3. Магний. – [Электронный ресурс] // 2012. Режим доступа: <http://fitfan.ru/nutrition/vitamins/3187-magniy.html>
4. Магний. – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: <http://vkusnoblog.net/sostav/magniy>
5. Гатаулина Г. Витамины и минеральные вещества. – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: <http://www.inflora.ru/directory/vitamins-and-minerals/magnesium.html>
6. Минеральные воды, источники минеральных вод в Украине. – [Электронный ресурс] // 2017. Режим доступа: <https://himanaliz.ua/mineralnye-vody/>

7. Минеральные воды Украины. – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: http://www.ybereg.com/ru/ukraina/detail/1790/Mineralnye_vody_Ukrainy.html
8. Лечебная минеральная вода. – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: <http://www.donat.kiev.ua/diabet1.aspx>
9. Технология производства. – [Электронный ресурс] // 2014. Режим доступа: <https://moybiznes.org/proizvodstvo-mineralnoj-vody>
10. Минеральные воды. Производство искусственной минеральной воды "Сельтерская вода". – [Электронный ресурс] // 2018. Режим доступа: <http://www.comodity.ru/nonsoftalco/mineralwater/92.html>
11. Электролиз воды. – [Электронный ресурс] // 2015. Режим доступа: <https://vodamama.com/elektroliz-vody.html>
12. Электрокоагуляция. – [Электронный ресурс] // 2017. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрокоагуляция>
13. Березуцкий В. В. Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях. – Монография. – Харьков: Факт, 2009. – 400с
14. Березуцкий В. В. Техногенна безпека маслемульсійних вод: Монографія. – Харків: ХДПУ. – 1998. – 279 с.;
15. Березуцкий В. В. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности. Монография – Харьков: ХГПУ. – 1999. – 170 с.

References

1. Magnij (MG). – [Elektronnyj resurs] // 2010. Rezhim dostupa: http://hnb.com.ua/articles/s-zdorovie-magniy_mg-342
2. Goncharov A. Magija magnija. – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: <http://infoindustria.com.ua/MAGIYA-MAGNIYA/>
3. Magnij. – [Elektronnyj resurs] // 2012. Rezhim dostupa: <http://fitfan.ru/nutrition/vitamins/3187-magniy.html>
4. Magnij. – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: <http://vkusnoblog.net/sostav/magniy>
5. Gataulina G. Vitaminy i mineral'nye veshhestva. – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: <http://www.inflora.ru/directory/vitamins-and-minerals/magnesium.html>
6. Mineral'nye vody, istochniki mineral'nyh vod v Ukraine. – [Elektronnyj resurs] // 2017. Rezhim dostupa: <https://himanaliz.ua/mineralnye-vody/>
7. Mineral'nye vody Ukrainy. – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: http://www.ybereg.com/ru/ukraina/detail/1790/Mineralnye_vody_Ukrainy.html
8. Lechebnaja mineral'naja voda. – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: <http://www.donat.kiev.ua/diabet1.aspx>
9. Tehnologija proizvodstva. – [Elektronnyj resurs] // 2014. Rezhim dostupa: <https://moybiznes.org/proizvodstvo-mineralnoj-vody>
10. Mineral'nye vody. Proizvodstvo iskusstvennoj mineral'noj vody "Sel'terskaja voda". – [Elektronnyj resurs] // 2018. Rezhim dostupa: <http://www.comodity.ru/nonsoftalco/mineralwater/92.html>
11. Jeletroliz vody. – [Elektronnyj resurs] // 2015. Rezhim dostupa: <https://vodamama.com/elektroliz-vody.html>
12. Jeletrokoaguljacija. – [Elektronnyj resurs] // 2017. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрокоагуляция>
13. Berезuckij V. V. Obespechenie bezopasnosti pri primenenii vodnyh tehnologicheskikh jemul'sij i rastvorov na proizvodstvax v metalloobrabatyvajushhih tehnologijah. – Monografija. – Har'kov: Fakt, 2009. – 400s
14. Berезuck'ij V. V. Tehnogenna bezpeka masloemul'sijnih vod: Monografija. – Harkiv: HDPU. – 1998. – 279 s.;
15. Berезuckij V. V. Teoreticheskie osnovy bezopasnosti zhiznedejatel'nosti. Monografija – Har'kov: HGPU. – 1999. – 170 s.

Поступила (received) 30.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Березуцький В'ячеслав Володимирович - д.т.н., проф. завідувач кафедри «Охорони праці та навколишнього середовища» НТУ «ХПІ», E-mail: viaberezuc@gmail.com

Халіль Вікторія Вячеславівна - асистент кафедри «Охорона праці та безпеки життєдіяльності» ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, E-mail: viktorykh610@gmail.com